

# 中学校理科における探究学習の実践例\*

〈中2（第1分野）「化学変化と物質の量」〉

山 崎 豊・平 岡 弘\*\*

最近教育工学的手法をとり入れた授業実践の研究<sup>1)</sup>が数多く発表され、またこれと併行して授業研究の方法論が確立されつつあるのは喜ばしいことである<sup>2)</sup>。

これらの研究の多くは教師グループの共同研究によるもので、メンバー全員の知識経験が結集されると共に、メンバー相互の励まし合いが優れた研究を産む要因ともなっている。ただし授業研究を志す教師がみなこのような研究グループに参加できるとは限らない。仲間と一緒に研究できる教師はむしろ好運なのであって、現実には研究したいと念じつつもその機会が得られず、日常の雑務の中に埋没している人が大半ではなかろうか。

この中にあって、本研究は探究学習の実践研究を志す1人の理科教師（平岡）が、ほぼ独力で（勿論、周囲の温い援助があったが）教育工学的手法を用いて行った実践例である。現場教師が平素の業務の中で行い得る授業研究のあり方について、何らかの参考になれば幸いであると思う。

## I 研究の方法

研究にあたっては、通常のエデュケーション工学的过程（設計→実施→評価）を採用した<sup>3)</sup>。対象単元は、生徒の興味関心、探究過程のたどり易さ等の面から、中学2年理科第1分野「化学変化と物質の量」——金属の酸化をとりあげた。

授業設計では、まず教材構造や目標を明確にするとともに、単元を方法面からも分析し授業設計をはかった。つぎにそれらを入力（インプット）とした授業実施の場では、指導の流れや、

学習活動における教師・生徒の言動などいくつかの観点から、評価のための資料を集めることにつとめた。授業実施後に授業設計による入力、授業実施を経た後で出力（アウトプット）としてどんな姿で現われるかを、各種のテストや生徒サイドの自己評価などの資料をもとにして評価を試みた。

なおこれら一連の授業研究に要した日時について参考までに表示する（表1）。

表1 研究経過一覧表（研究期間と内容）

月	研 究 内 容
4	・探究学習等に関する文献調査
5	・研究対象単元の決定 ・教材構造の分析
6	・目標内容マトリックス作成 ・生徒の興味指向調査
7	・授業フローチャート作成 ・行動目標設定
8	・実験方法の検討 ・指導案作成 ・評価方法の検討
9	
10	・授業実践
11	・実践結果の分析と考察

## II 授業の設計

### 1 教材構造化から指導案作成まで

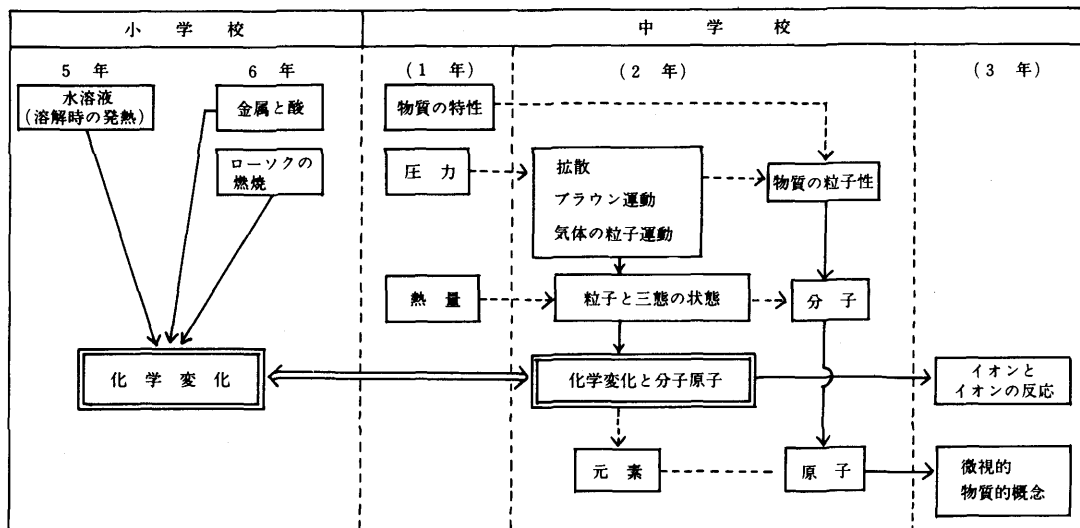
#### (1) 教材構造

教材は、その科学体系に占める位置や生徒の学習能力の発達程度を考慮して、構造化されね

\* 昭和50年9月16日受理

\*\* 金沢市泉中学校教諭（金沢大学科学教育研究室研究生）

図1 (単元)「化学変化と物質の量」の小・中学校教材との関連



ばならない<sup>4)</sup>。「化学変化と物質の量」の単元について、中学校理科第1分野および小学校教材との関連を考察し<sup>5)</sup>、教材構造を図1のように設定した。またこの単元中の内容要素を図2のように関連づけた。

## (2) 目標内容マトリックス

学習の目標を明確にするため、「化学変化と物質の量」に含まれる概念を洗い出し、多数の理科教師の意見や文献等<sup>1) 9)</sup>を参考にして学習の内容面と目標面を行と列に表わしたのが図3である。

## (3) 指導細案の作成

「金属の酸化」の授業展開について、まず生徒の実態(次節参照)にもとずき、さらに生徒の思考過程や学習活動を予測し、教師の発問

や教材配列などを工夫し、指導原案を作った。それによって他の学級でトライ授業をやり、検討修正を加えたのが表2の指導細案である。生徒の行動の欄は、生徒の主体的な学習を重視したため、教師の活動と同じウェイトで表わされている。また評価欄は、生徒の到達度をできるだけとらえようという考えから設けてある。

指導計画(単元内容と時間配当)については、理科指導書、金沢市理科部会「教材精選案<sup>9)</sup>」および図3のマトリックス等をもとにして設定した。

行動目標は、「授業研究の方法論」<sup>2)</sup>(水越グループ)「行動目標と評価<sup>6)</sup>」(森川氏)が述べている通り、具体性と評価可能性をもったものでなければならない。すなわち、生徒たちが学習活動を行った結果、何がわかり、何ができるようになるべきのかを具体的に示したものである。「金属の酸化」の授業目標・行動目標もこれにしたがって、図3のマトリックスをもとに設定した。

図2 「化学変化と物質の量」における諸内容要素の関連

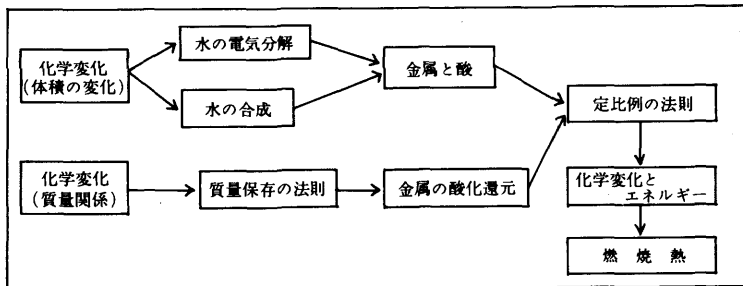


図3 目標内容マトリックス (中学校2年理科第1分野, 化学変化と物質の量)

上位概念	下位概念	要素	探究過程における能力										
			問題発見	予測	観察	実験	測定	記録	分類	グラフ化	推論	モデルの形成	仮説の設定・検証
1 化学反応を量的に扱うことにより法則性をみいだす。	A 水の分解や、合成においてその反応に関係する気体の体積比は一定である。	A-1 水を電気分解すると陽極に酸素、陰極に水素が蓄まり、その体積比は2:1である。				●	○	○					
		A-2 水素と酸素の混合気体に点火すると化合するがその体積比は2:1である。	●	○	○								
	B 化学変化の前・後では、反応物質の重さの総和と生成物質の重さの総和とは等しい。	B-1 化学反応後もはじめと質量は変わらない。	○	○		●							
		B-2 密閉した容器内での反応では質量は変わらない。	○			○					●		○
	C 金属の酸化や、金属酸化物の還元において、その反応に関係する物質の質量の比は一定である。	C-1 金属が増えると質量が増す。		○		○							○
		C-2 金属が増えるとき、酸素と化合する割合は一定である。		○		○	○			●	○	○	
		C-3 水素で銅を還元することができる。	○		○						○	●	
		C-4 酸化銅は銅と酸素が一定の質量比で化合している。		○				○		○		●	
		C-5 化合物の種類によってその成分元素の質量比は一定である。							○				
2 化学反応時の熱の吸収放出をエネルギーの立場から考察する。	D 金属が酸と反応するとき生成する気体の体積はその質量に比例する。	D-1 発生する水素の量と亜鉛の質量の間には比例関係がある。	○	○		○	●			●			
		D-2 発生する水素の量は塩酸の質量に比例する。				○	○			●			○
		D-3 酸から発生する水素の量の割合は金属の種類や金属の質量によってちがう。							○	○			
	E 物質には熱、電気などのエネルギーで分解されるものがある。	E-1 メチールアルコールの燃焼による発熱量は他の化学変化と比べ発熱量が大きい。		○		○	●						○
		E-2 メチールアルコールが増えると二酸化炭素と水を生じることから、炭素と水素が増える化学反応である。		○	○								

〈中学2年理科学習指導案〉

単元名 化学変化と物質の量

指導計画 (総時数 11 時限)

- 第1次 水の電気分解……………1時限
- 第2次 水の合成……………2時限
- 第3次 物質の質量と変化 } ……2時限
- 第4次 質量保存の法則 }
- 第5次 金属の酸化 }
- 第6次 金属酸化物の還元 } ……3時限
- と定比例の法則 }
- 第7次 金属と酸性の物質……………1時限
- 第8次 化学変化とエネルギー…2時限

本時の学習

(1) 題材 金属の酸化

(2) 目標

・授業目標

- 1 マグネシウムやスチールウールを燃焼して、燃焼前後の質量を測定し、金属とその酸化物の質量比が一定であることを実験を通して調べることができる。

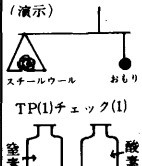
- 2 金属のちがいのによる比例定数の相違をグラフから考察し、金属の種類によって酸素との結合比がちがうことを、モデルを使って説明できる。

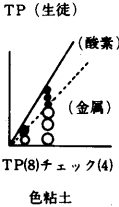
・主要行動目標

- 1 マグネシウムやスチールウールを燃焼したとき、酸素と結びつくことが予想できる。
- 2 計器を使って金属とその酸化物を正しく測定できる。
- 3 金属とその燃焼生成物の質量の関係をグラフ化できる。
- 4 安全に操作でき、手ぎわよく実験できる。
- 5 グラフを読みとることによって、マグネシウムやスチールウールと酸素との結合の割合が一定であることが確かめられる。
- 6 金属と酸素の結合の割合をモデル化できる。

表2 中学2年理科「金属の酸化」指導過程

## 指導過程（金属の酸化）

過程	学習内容	教師の行動	メディア	生徒の活動	評価	時間 (経過時間)
問題の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>スチールウールを燃焼したときの重量の増加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>棒でんびんのスチールウールを燃焼する。</li> <li>スチールウールが重くなったのはどうしてか話しあう。</li> <li>窒素と結びつかないのを確かめるについて話しあう。</li> <li>酸化について説明する。</li> </ul>	<p>(演示)</p>  <p>スチールウール おもり</p> <p>TP(1)チェック(1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>演示実験をみる。</li> <li>スチールウールが重くなったわけについて話しあう。</li> <li>窒素と結びつかないことの確かめについて話しあう。</li> <li>演示実験をみる。</li> <li>酸化について知る。</li> </ul>	<p>チェック(1)</p>	<p>10分</p> <p>(10分)</p>
仮説の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素と結びつくときの規則性の予想</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スチールウールが酸化するときスチールウールと酸素の結びつきかたにきまりがあるか予想させる。</li> </ul>	<p>TP(2)チェック(2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素と結びつくときの予想をモモし話しあう。</li> </ul>	<p>チェック(2)</p>	<p>5分</p> <p>(15分)</p>
実験計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>結合関係を調べるための実験計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼に使う金属について話しあわせる。</li> <li>図示により実験上のヒントを与える。             <ul style="list-style-type: none"> <li>実験方法</li> <li>準備するもの</li> <li>注意すること</li> </ul> </li> <li>実験の準備をさせる。</li> </ul>	<p>OHP (2台)</p> <p>TP(3)(4)実験図</p> <p>実験器具</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2群に分けてマグネシウムとスチールウールを使い実験することに話しあう。</li> <li>図よりグループごとに実験計画を立てる。</li> <li>本時の実験の役割を確認する。</li> <li>実験器具・薬品を準備する。</li> </ul>		<p>20分</p> <p>(35分)</p>
生徒実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属の燃焼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>準備できたか確認させ実験させる。</li> <li>机間巡視し助言を与える。             <ul style="list-style-type: none"> <li>正しく測定しているか</li> <li>完全に燃焼しているか</li> <li>協力し役割を果たしているか</li> </ul> </li> <li>グループの実験結果について記録させる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>準備を確認し、実験する。             <ul style="list-style-type: none"> <li>金属の質量を正しくはかりとる</li> <li>再加熱により完全燃焼をはかる</li> </ul> </li> <li>実験結果をグループごとに記録する。</li> </ul>	<p>机間巡視</p>	<p>15分</p> <p>(50分)</p>
結果の処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ表の提示</li> <li>データ処理方法の話しあい</li> <li>グラフ化とその発表</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前時の実験結果のデータ表を提示する。</li> <li>データ処理方法を話しあわせる。</li> <li>話しあいよりグラフ化させる。</li> <li>グループごとにグラフ化を発表し話しあわせる。</li> </ul>	<p>データ表</p> <p>TP(5)-マグネシウム</p> <p>TP(6)-スチールウール</p> <p>TP(7)チェック(3)</p> <p>TP(生徒)グラフ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ表から比較し話しあう。</li> <li>データの処理方法について話しあう。</li> <li>グループごとに話しあいグラフ化する。</li> <li>各グループのグラフ化と比較し話しあう。</li> </ul>	<p>チェック(3)</p> <p>机間巡視</p>	<p>15分</p> <p>(15分)</p>
結果の推論	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフから導かれること</li> <li>グラフの解釈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフから金属と酸化物の関係話しあわせる。             <ul style="list-style-type: none"> <li>原点を通る直線</li> <li>直線の傾きのちがひ</li> </ul> </li> <li>グラフ上で金属と結びつく酸素の量を図示させる。</li> <li>測定していない部分での金属の量、酸素の量について推測させる。</li> </ul>	<p>TP(生徒)</p>  <p>↑酸化物の質量</p> <p>マグネシウム</p> <p>スチールウール</p> <p>金属の質量→</p> <p>←酸素</p> <p>←金属</p> <p>(酸素)</p> <p>(金属)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属と酸化物の関係について話しあう。             <ul style="list-style-type: none"> <li>金属と酸化物は比例</li> <li>酸素の結びつきが多いほど傾きが急</li> </ul> </li> <li>グループごとにグラフ上で金属と酸素の量に分け、図示してみる。</li> <li>測定していない部分の金属の量、酸素の量について話しあい推測する。</li> </ul>	<p>机間巡視</p>	

結果の推論	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属と酸素の結合比</li> <li>モデル化</li> <li>モデル化のまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフから金属と結びつく酸素の割合を求めさせる。</li> <li>金属と結びつく酸素の割合を比較し話しあわせる。</li> <li>金属と結びつく酸素の量をグラフ上で粒子モデルでおきかえそれについて話しあわせる。</li> <li>グループごとにマグネシウムと酸素の質量比をもとにモデルで表わさせる。</li> <li>各グループごとのモデルを発表させ、それについて検討させる。</li> <li>モデル化について補説する。</li> </ul>	 <p>TP (生徒)</p> <p>TP(8)チェック(4)</p> <p>色粘土</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフより、金属と結びつく酸素の割合について話しあい、計算で求めてみる。</li> <li>金属と結びつく酸素の割合について話しあう。</li> <li>グラフ上で金属と酸素の粒子モデルでおきかえ、それについて話しあう。</li> <li>グループごとにマグネシウムと結びつく酸素の質量比をもとにモデル化する。</li> <li>発表されたモデルについて検討する。</li> </ul>	<p>机間巡視</p> <p>25分</p> <p>チェック(4) (各自モデルを 図示する)</p> <p>机間巡視</p> <p>(40分)</p>
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>まとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属の酸化についてまとめさせる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>金属の酸化について各自まとめる。</li> <li>燃焼は金属と酸素の結合である</li> <li>金属と酸素は同じ割合で結合する</li> </ul>	<p>5分</p> <p>(45分)</p>

## 2 事前調査と実験の工夫

### (1) 生徒の興味志向調査

授業設計と平行して興味志向調査を行なった。調査方法は、「化学変化と物質の量」の単元開始の2週間前(6月下旬)、2学級の生徒(86名)各自にマグネシウムとスチールウールの燃焼について実験させると共に現象をよく観察させ、気のついたことについて、1項目を1カード毎に自由に記入させた。図4はその中から主なものについてまとめた結果である。

観察の結果を、内容面から「素朴な観察」、「燃焼生成物への関心」、「量的な考察」の3つの項目に分けることができる。「素朴な観察」ではスチールウールに比べて、マグネシウムの燃え方に男女とも関心が強い。「燃焼生成物」への関心が全体からみると割合に多いのは、既習の小学6年の「ローソクが燃えると熱と光がでる」の単元の学習がステップになっているためと考えられる。「量的な考察」は人数的に男女とも少ないが、今後学習予定の「化学変化と物質の量」の単元において「質量保存の法則」や「定比例の法則」へと発展する芽生えとなろう。

### (2) 実験の工夫

金属の燃焼実験は、化学変化の量的関係から、定比例法則の発見へと発展するための、重要な実験である(図2参照<sup>7)8)</sup>)。この実験についてはこれまで多くの教師による実験方法の研究がなされているが、生徒実験として行った場合、期待通りの結果がなかなか得られにくい。その原因について、本研究では予備実験を行ない、実験操作法と精度の面から検討した。この結果、生徒実験として最適と思われる実験方法を選定することができた(7月下旬から8月上旬にかけて実施)。この実験方法について図5に、実験結果については表3に示した。

#### 〈実験結果の考察〉

〈スチールウールの燃焼について〉

(質量増加比の理論値1.383)

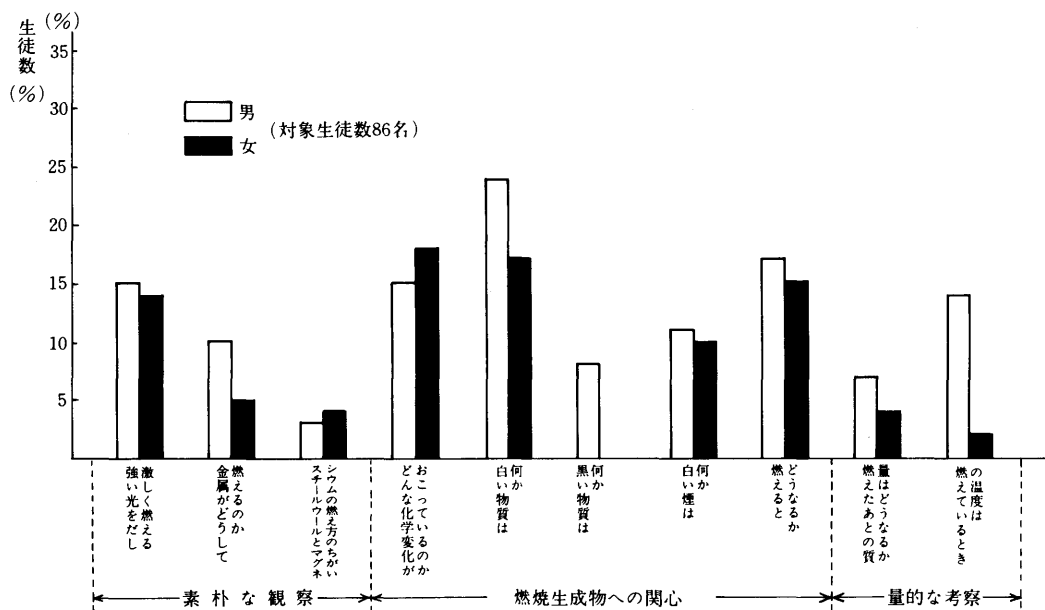
a. スチールウールをうすくひろげて自然に燃焼した場合

実験は手軽で、時間も短かく危険度も少い。量を多くしても、うすく拡げるようにすれば結果のばらつきが少く、理論値より低い安定している。

b. スチールウールをまるめ息を吹きあてながら燃焼した場合

うすく拡げた燃焼より結果は良いが、量が多くなると

図4 生徒の興味志向調査

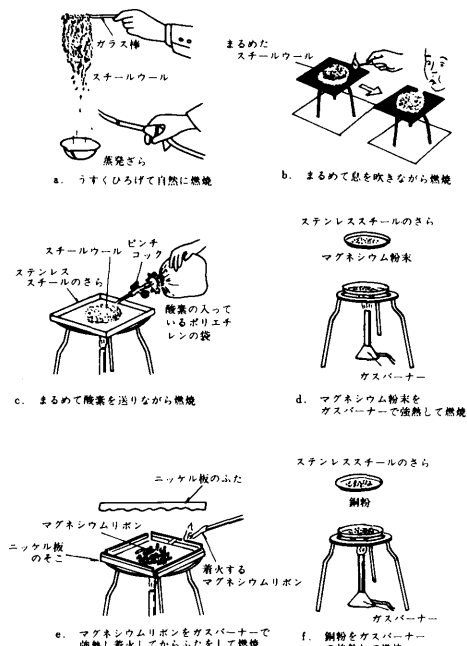


(スチールウールおよびマグネシウムの燃焼について生徒が関心をもった事項と該当生徒百分率)

表3 金属の燃焼による実験結果

スチールウールの燃焼	a, うすくひろげて自然に燃焼 (所要時間5分)	
	スチールウール (g)	1.5 2.0 3.3 4.0 5.3 6.0 7.1
	酸化鉄 (g)	1.7 2.2 3.6 4.4 6.0 6.5 7.9
	増加比	1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
スチールウールの燃焼	b, まるめて、息を吹きながら燃焼 (所要時間7~8分)	
	スチールウール (g)	0.7 1.0 2.2 2.7 4.7 6.4
	酸化鉄 (g)	0.8 1.2 2.5 3.3 5.7 7.4
	増加比	1.1 1.2 1.1 1.2 1.2 1.2
スチールウールの燃焼	c, まるめて、酸素を送りながら燃焼 (所要時間7~8分)	
	スチールウール (g)	1.0 2.7 3.2 4.3 5.1 6.3
	酸化鉄 (g)	1.3 3.5 4.1 5.7 6.5 8.2
	増加比	1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3
マグネシウムの燃焼	d, マグネシウム粉末をステンレス皿に入れガスバーナーで強熱 (所要時間10分)	
	マグネシウム (g)	0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1.0 1.5 2.0
	酸化マグネシウム (g)	0.5 0.7 0.8 1.0 1.3 1.6 2.4 3.2
	増加比	1.7 1.8 1.6 1.7 1.6 1.6 1.6
マグネシウムの燃焼	e, マグネシウムリボンを細かく(1cm位に)切り、ステンレス皿に入れふたをしたまま熱し、しばらくして着火、時々ふたをあけ強熱 (所要時間8分)	
	マグネシウム (g)	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8
	酸化マグネシウム (g)	0.5 1.0 1.5 1.9 2.4 2.8
	増加比	1.7 1.7 1.7 1.6 1.6 1.6
銅の燃焼	f, 銅粉をステンレス皿に入れガスバーナーで強熱 (所要時間15分)	
	銅粉 (g)	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0
	五分間加熱 (g)	1.2 2.4 3.6 4.8 5.8 7.0
	10分間加熱 (g)	1.2 2.4 3.6 4.8 5.9 7.2
	増加比	1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2

図5 金属の燃焼実験



燃焼が不完全になる。息を吹きかけるコツが大切だが、馴れると操作が容易で時間は短かく危険度も少い。途中で火が消えると、再び点火しにくい。

c. スチールウールをまるめて酸素を送りながら燃焼した場合 増加比は前2者より高いが、それでも1.3程度しか期待できない。またかなりの酸素を必要とし、費用も高つく。

〈マグネシウムの燃焼について〉

(質量増加比の理論値1.659)

d. マグネシウムの粉末を燃焼した場合

理論値に近い結果が得られやすい。量が多くなると、かき混ぜながら十分に酸化させるための時間がかかる。発煙による散失量は気にするほどではない。

e. マグネシウムリボンを燃焼した場合

長さ10cmのリボン重量は、約0.1gである。長さから容易に質量をはかりとることができる。燃焼時間も粉末より短い。発煙による散失量が多いので、ふたを用い十分に熱してからマッチで着火する。時々ふたを少しあげ、空気を入れるようにする。量が多くなるにつれて精度が低くなる。

〈銅粉の燃焼について〉 (質量増加比理論値1.252)

f. 銅粉は燃焼すると全体が固くなり、十分に酸化させるため途中碎きながら加熱が必要である。それでかなりの時間がかかるが、量が多くても増加比は安定している。

以上、スチールウール・マグネシウム・銅の金属について実験結果を考察した結果、表3中のスチールウール(b)とマグネシウム(e)の2方法が、生徒実験として望ましいと判断した。(この結果が指導案(p.4~5)に採用されている)。

### 3 指導過程における評価方法の検討

授業設計の改善をはかるため教師・観察者・生徒の3者の立場から追跡する方法で評価を試みた。

先づ教師の立場で行う評価は図8の内容についてのチェックによるもので、生徒たちに期待する行動目標が理解・態度・能力の面でどう伸びていったかを、ひとりひとりの生徒についてとらえようとした。

授業観察者の立場で行う評価は、一つは複数の観察者が、授業分節毎に観点を設けた評価表(表4)を利用して、生徒の学習活動をチェックしていくものである。

いま一つは授業における教師と生徒のコミュ

表4 指導過程評価表(金属の酸化)

※評価の基準  
 a. 目標に到達している  
 b. 普通である  
 c. 目標に到達は十分でない  
 ※評価の数字は評価者の人数

(第1時限)

分節	評価の観点	評価	分節評価
1 問題把握	1-1 ・スチールウールが重くなったことに疑問をもっている。	a b c 3 1	
	1-2 ・スチールウールが燃えたわけについて気がつく。	a b c 2 2	a b c 2 2
	1-3 ・学習意欲が高まっている。	a b c 2 2	
2 仮説の設	2-1 ・学習経験を通して予想を立てている。	a b c 3 1	a b c 2 2
	2-2 ・予想立ての話し合いに積極的に参加している。	a b c 3 1	
3 実験計画	3-1 ・教師の実験計画をヒントに各グループが実験計画に参加している。	a b c 3 1	a b c 1 2 (評価者に 無答あり 以上同じ)
	3-2 ・生徒の実験準備が十分にされている。	a b c 3	
4 生徒実験	4-1 ・計器を正しく使って測定している。	a b c 1 3	
	4-2 ・安全に操作し手ざよく実験している。	a b c 3 1	a b c 2 2
	4-3 ・完全に燃焼させている。	a b c 3 1	
	4-4 ・協力し役割を果たしている。	a b c 1 3	

(第2時限)

分節	評価の観点	評価	分節評価
5 結の処理	5-1 ・金属と酸化物の質量関係をものにグラフ化すると都合がよいことに気づく。	a b c 1 3 1	
	5-2 ・グラフ化がグループごとに十分になされている。	a b c 1 4	a b c 1 4
	5-3 ・各グループのグラフを比較検討できる。	a b c 3 2	
6 結果の推論	6-1 ・グラフから金属と酸化物の関係を読みとれる。	a b c 1 4	
	6-2 ・グラフから金属と結びつく酸素の割合を求めることができる。	a b c 2 2 1	a b c
	6-3 ・十分な話し合いの中で推論が深められている。	a b c 1 2 2	
	6-4 ・各グループでモデル化のねり上げがなされている。	a b c	
7 まとめ	・金属の燃焼についてまとめられる。	a b c	

学習活動に関する感想	1 探究の過程を通して授業が進められたか。	a b c 1 2
	2 生徒が意欲的に学習にとりくんだか。	a b c 1 2
	3 学習活動によってさらに新しい疑問を持つ者がいたか。	a b c

※6-3で授業終了のため評価できなかった。

ニケーション分析であって、教師と生徒の発言内容を図 10 のようにそれぞれ 5 つのタイプに分け、発言のひとつひとつについて時間と関連させてその欄にプロットし、地震計の記録のように振動で表現する。

生徒の立場による評価内容分析は、学習の単元が終るごとに自己の学習状態をふりかえり、図 11(a)の欄にチェックしていく。もちろん成績とは無関係であるとの約束の上に立つて行うものである。これにより生徒個人の学習のみでなく、授業全体についての傾向がわかり、生徒サイドに立つての評価として重要な資料になる。(注) 図 10, 11 はいずれも後頁に一括して示した。

### III 授業の展開

#### 1 各授業分節における状況

「金属の酸化」の授業は表 2 の指導細案にもとづき、10 月上旬校内の理科教師 5 名の協力を得て実施した。

(第 1 時限) 問題把握段階では、「物が燃える」と重くなる」との矛盾感から出発した。生徒の多くはスチールウールが燃えて重くなり、つりあった天秤が傾いていく現象に驚いた。図 8 のチェック(1)では、図 9 の 2 「酸素と結びついて重くなる」との予想がほとんどであった。理由の話しあいから「ローソクの燃焼」の既習経験から予想したようだ。

仮説段階では、スチールウールと結びつく酸素の量的関係については、図 8 のチェック(2)に対し、図 9—①のように「きまりがある」とほとんどが予想した。その中にはあてずっぽうな予想も考えられる。

実験段階では、準備や時間を考慮し、また図 5 の方法からヒントを得て実験計画をたてた。実験時間の不足から話しあい、スチールウールとマグネシウムの 2 手に分け、その中でさらに質量を変えて実験するグループに分けた。各グループは実験する金属や質量について確認し、計画にしたがい実験した。スチールウールは実

験操作が簡単で時間内にどのグループも結果がでたが、マグネシウムは燃焼操作に手まどり、2, 3 のグループは時間内に完了できなく続行し結果を出した。

#### (第 2 時限)

2 日後は「金属の酸化」の第 2 限を実施し、結果の処理の段階から開始した。前時の実験データの処理に入る前にグラフ化についての認知を調べ、図 8 チェック(3)から図 9 の結果のように生徒の実態を確認した。

結果の推論段階では、そのグラフから金属と酸素の関係について自分のたてた仮説を確かめた。つぎにマグネシウムとスチールウールのグラフ上の直線の傾きのちがいがから、金属によって結びつく酸素が変わることを知った。さらにくわしく比較するため、結合比を求めたところで時間が終了してしまった。翌日他の教科の授業時間を 1 部かり、残りの授業を実施した。観察者は 1 人で図 10 のコミュニケーション表の作成だけ行った。

モデル化の段階(補充時間に実施)では求めた金属と酸素の結合比を粒子概念でとらえるため、マグネシウムと酸素の結合関係についての概念形成の成就度を図 8 チェックでしらべ、2 : 1 の結合を想定したタイプの生徒が多いことを確認した。さらに色粒土を使いモデル化についての共通理解をはかった。

まとめの段階では学んだことについてまとめさせ、家庭学習としてスチールウールについて指示した。授業時間は予定より 20 分超過した。

#### 2 授業によって生徒が到達した結果とその考察

##### (1) 生徒実験の結果とそのグラフ化

1 クラス 11 班からなり、マグネシウムの実験グループ 6 班およびスチールウールの実験グループ 5 班に分れて行った実験結果、およびこれをグラフ化したものを図 6 に示した。増加比やグラフからみてあまりバラツキがないことか



ら、測定が正しく行われ金属の燃焼十分になされたことが考えられる。結果からみて、生徒実験としては成功だったと思う。

## (2) 生徒実験のモデル化

実験結果から、マグネシウムの重量増加比は1.5で、マグネシウムと酸素の結合比は2:1となった。マグネシウムと結合する酸素の質量比2:1の関係を、図8の与えられた粒子モデルでモデル化させた。

モデル化について、①粒子の種類や粒子の数についてどの程度意識しているか、②さらに学習が進むにつれてその認識がどのように変わっていくか、を調べることにより、生徒のもつ粒子

図6 生徒実験の結果

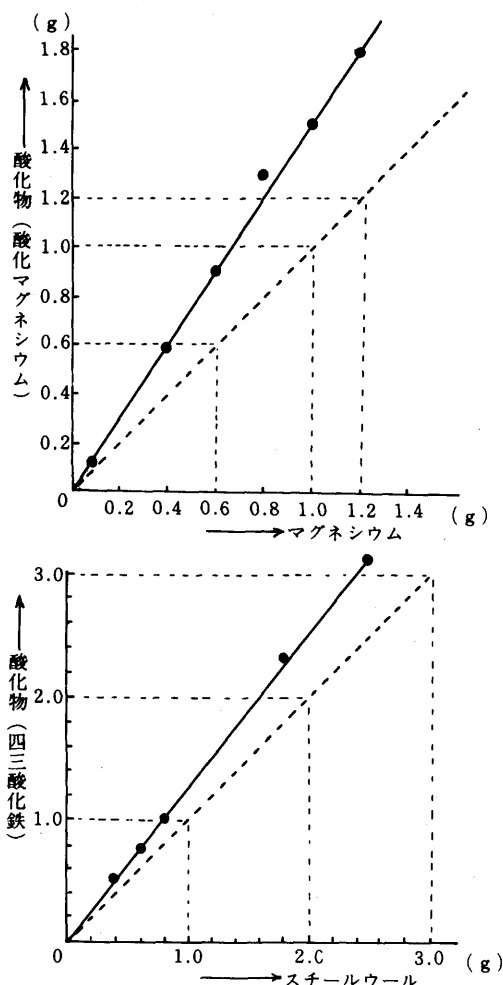
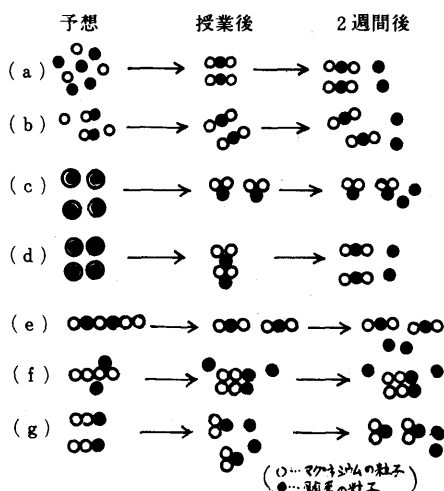


図7 モデル化の変容



概念について把握しようとした。そして予想段階と、授業後、2週間後と3回、図8の内容について調査を続けた。その中の主なタイプについてとりあげたのが図7である。図から考えられることは、予想の段階で粒子概念が把握されずモデル化ができなかった生徒でも、学習することによってたしかな学力がつき粒子概念が把握されるようになった。さらに反応しない残りの粒子にも考慮を払い、発展的な粒子モデルを構成する力がみられる。

## IV 授業の評価

「金属の酸化」の授業は、予定時間より20分延長して終了した。このような時間的なズレの面ばかりでなく、授業の内容面のズレも明らかにして、設計にフィードバックし修正する必要がある。

「金属の酸化」の授業実施と設計とのズレを明らかにするため、教師・授業観察者・生徒の3者の立場から評価してみた。

### 1 指導者(教師)による評価とその考察

「金属の酸化」の授業過程中、教師が図8のテスト形式内容をOHPで提示し、生徒に調査カード記入させた。そのあと挙手によって、教師は生徒の学習到達度を判断したり、生徒の変

容をとらえたりして、授業の流れを調整した。さらに授業後のポストテストや、2週間後の把持テストなどから学習の定着度を測定した。また、チェック（通過テスト）の結果や、ポストテスト・把持テストの結果については、図9の通りである。

### 〈考察〉

チェック(1)「スチールウールが重くなったのはどうしてか」の質問に対し、選択肢②の「酸素と結びついたから」と答えた生徒がほとんどである。このように多いのは、小学校の燃焼についての学習経験によるものと思う。「二酸化炭素と結びついた」と答えた生徒は3名いるが、「ものが燃えると二酸化炭素ができる」という概念がこびりついているための、勘がよいとも考えられる。

チェック(2)「酸素と結びつくときにきまりがあるか」について、①の「きまりがある」と答えた生徒が多い。この場合も、小学校での燃焼についての学習経験や、問題把握段階での演示実験などから、予想して答えたものと思われる。

チェック(3)のグラフ化の概念に関する理解度調査に対しては、多くの生徒は図8②のグラフ化を選んでいる。③のグラフ化と答えた生徒は9名いるが、これらの生徒はグラフ化について不勉強であるといえる。

チェック(4)では「マグネシウムが酸素と結びついてできるときのモデル化」を図示させた。実験値、マグネシウムと酸素の結合量比2:1から、与えられた粒子モデルをどのように組合せて化合物を表わすかについて、調べてみた。予想時に生徒の行ったモデル化では、図9②のようにマグネシウムと酸素の結合比2:1だけとられ、残余の酸素粒子を考慮しないモデル②のタイプを持った生徒が、もっとも多かった。ポストラストの結果では、図9に示す通り、タイプ①のように  $Mg:O=2:1$  とし、かつ残余の酸素の粒2個についても配慮した回答がもっとも多くなっている。2週間後の把持テストの結果では、さらに①のモデルタイプが増加している。ポストテストで①のタイプが多くなった理由は、学習によって予想が確かめられ、

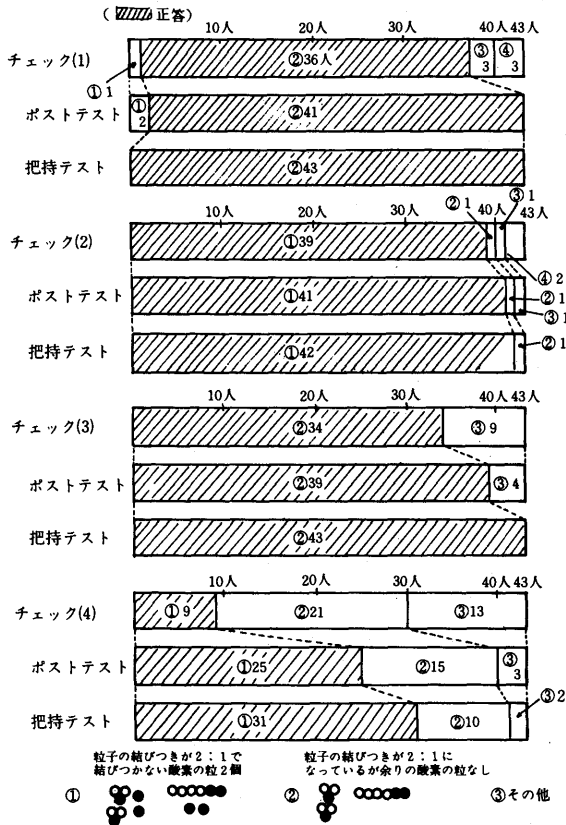
理解が深まったからであるといえる。また把持テストの結果で、①のタイプがさらに増したのは、スチールウールの燃焼について宿題を通してモデル化の学習が行われ、転移能力の定着がみられたからと考えられる。

一般に把持テストの結果は、ポストテストの結果に比べて減退する傾向のものであるが、今回は全般にわたり、把持テストの結果がポストテストの結果とほぼ同等、あるいはやや伸びている。

図8 授業過程における教師によるチェックの内容

<p>チェックの内容</p> <p>チェック(1) 「スチールウールが重くなったのはどうしてか」 ①窒素と結びついたから ②酸素と結びついたから ③空気と結びついたから ④二酸化炭素と結びついたから ⑤その他(理由をかく)</p> <p>チェック(2) 「酸素と結びつくときにきまりがあるか」 ①きまりがある ②きまりがない ③どうともいえない ④わからない</p>	
<p>チェック(3)「グラフ化した図でどれがもっともよいか」</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  ① </div> <div style="text-align: center;">  ② </div> <div style="text-align: center;">  ③ </div> <div style="text-align: center;">  ④ </div> <div style="text-align: center;">  ⑤その他 </div> </div>	
<p>チェック(4)「マグネシウムが酸素と結びついてできるときの物質をモデルで示せ」 (マグネシウムの粒子と酸素の粒子の質量は同じとする)</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 2px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 2px;"></div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 2px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 2px;"></div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 60px; margin: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>マグネシウムの粒子</span> <span>酸素の粒子</span> </div>	

図9 チェックの結果とポストテスト・  
把持テストの結果との比較（2週間後）



## 2 授業観察者による評価（指導過程評価）

指導過程における生徒の行動や思考の変容過程をとらえたり、授業のズレを測定するために表4のように授業過程を分節に分け、各分節に評価観点を設けた表を作成した。評価観点は、授業目標を学習の内容面だけでなく、態度や技能面からもとらえ、つけやすい項目にして表わした。評価段階は授業観察者につけやすいように3段階にとり、各項目についての評価と、それをまとめた分節の評価についてチェックしてもらった。これを用いて、授業観察者（教師グループ）が観察評価した結果を、表中「評価欄」にa, b, c, 各項目毎に数字で示した。授業観察者は多いほど評価は客観性をもつが、現場で

は多くの教師達に協力をお願いするわけにはいかない。それにしても、第1時限は4名、第2時限は5名の教師のご協力が得られた。

## 3 コミュニケーション分析

授業中におけるコミュニケーション活動について、観察者の1人に記録してもらい、その結果をまとめたのが図10である。

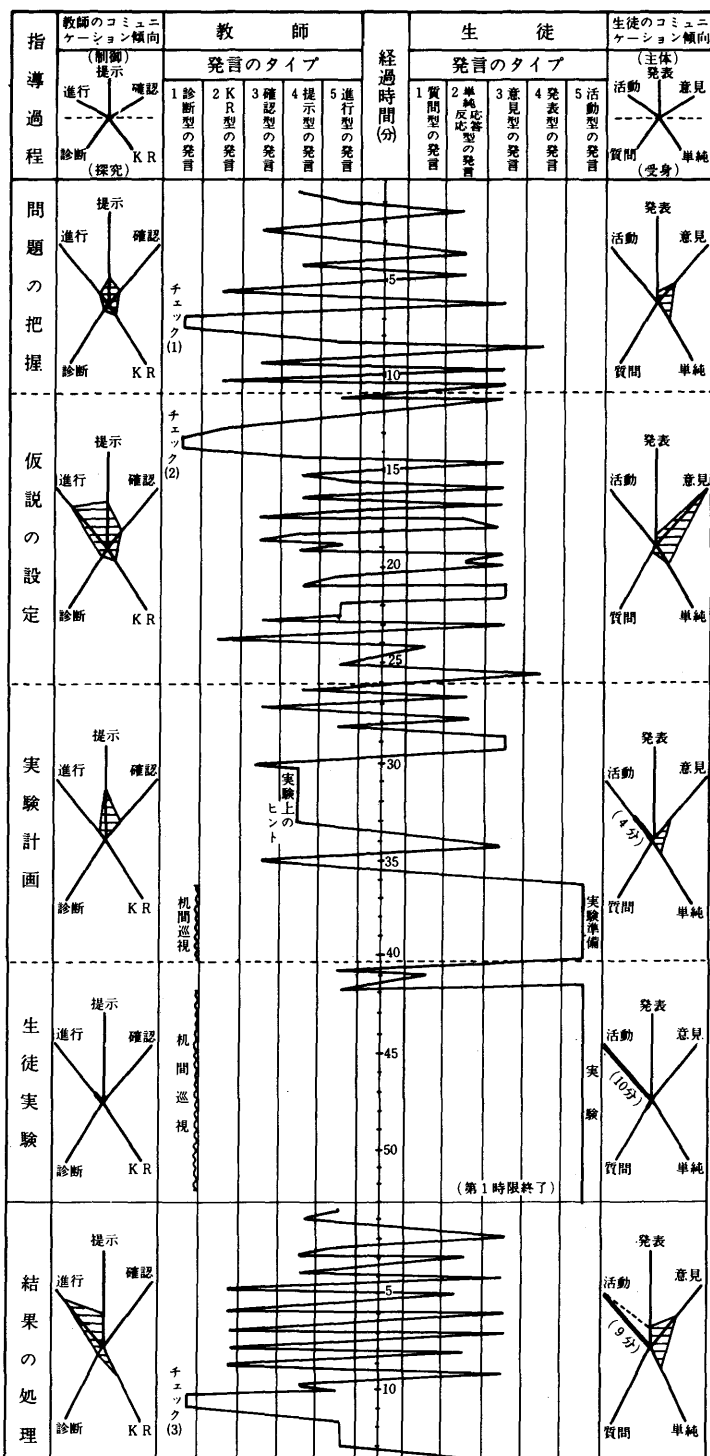
この表では、両端の欄に各指導過程における教師・生徒のそれぞれの発言数の合計を、5つの発言タイプについて面積グラフで表わし、それによってどんな発言のタイプが多かったかがわかるように示した。実験の場合の発言は活動型の発言として取扱い、時間で表わし線の長さで示した。

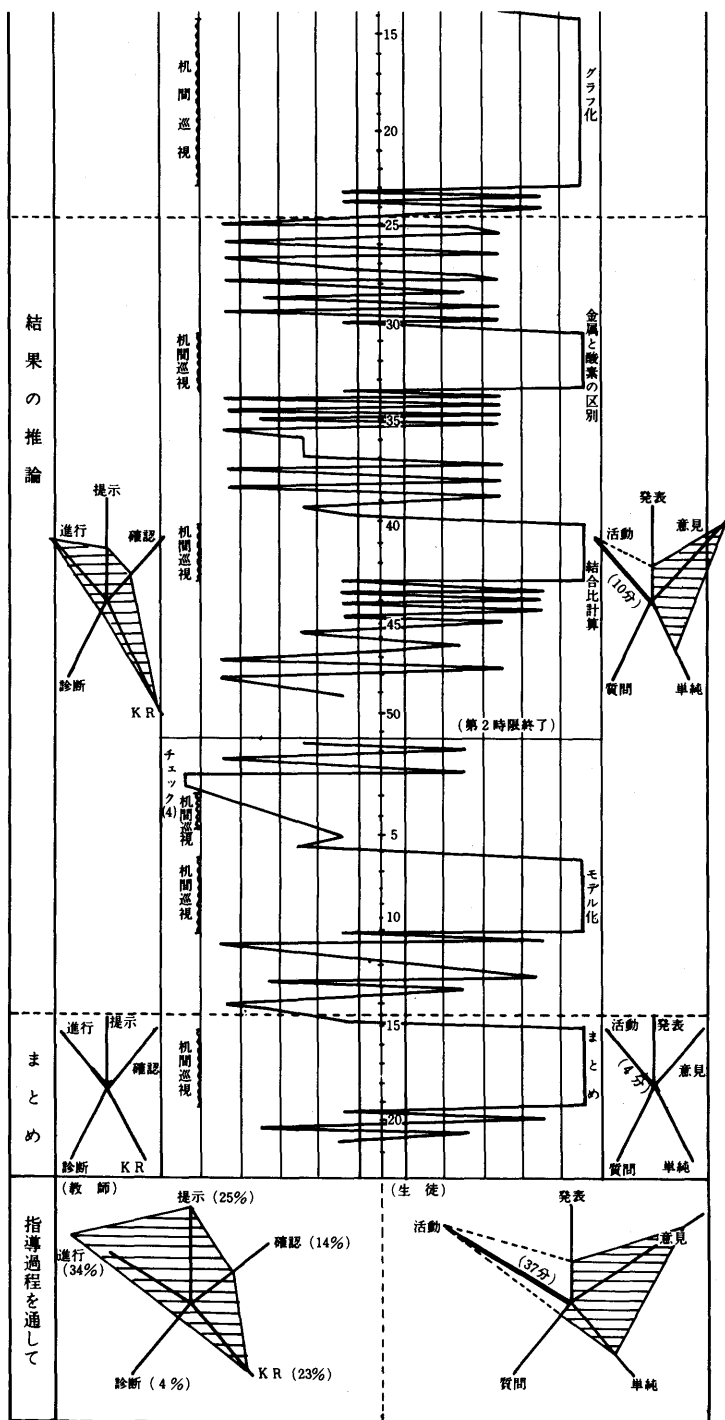
〈授業過程評価とコミュニケーション分析結果の考察〉

指導過程評価の結果と、その補助として使ったコミュニケーション分析の結果を、関連をもたせ考察してみた。

授業過程評価(表4)の生徒実験欄では、「計器を正しく使っている」「協力し役割を果たしている」の評価の観点は評点としてbが多い。これとコミュニケーション表(図10)における生徒実験に入る直前段階の振動を検討すると、その振れが粗い感じをうける。コミュニケーションが粗いと言うことは、発言が少くまたその時の実験に対する教師の細かい指示が足りなかったことを意味している。そのため表4の生徒実験の欄で(b)の評点が多くなったのではなかろうか考えられる。表中 結果の推論の欄では(a)の評点は比較的少い。それに関して、コミュニケーション表の結果の推論の面積グラフを対照すると、教師の方はKR発言が多く、生徒の方は意見型の発言が多い。つまり、教師は生徒に自由に言わせて拡げていく発言をとり、そのために生徒は深まりのない意見発表が多

図10 コミュニケーション表





かったといえる。結果の推論の過程では、もっと生徒に方向性をもたせる発言（いわゆる確認型や提示型の発言）をもう少し強めてもよかったのではないかと考えられる。

コミュニケーション表中仮説設定の段階では、教師の発言は面積グラフからみて提示型の発言が多く、方向性をもたせ過ぎた嫌いがあるようだ。この段階は生徒に拡散的思考をさせるところであり、KRの発言が多い方がよかったのではなかろうか。一般に授業の流れからみて、授業のはじめは拡散的思考で、実験段階からは集約していく集中思考へと、指導過程がとられていかねばならない。このことから仮説の段階と推論の段階におけるコミュニケーション活動が、いくらか逆になっている感じもする。

コミュニケーション表図 10 から、全授業過程を通して生徒には意見発表型が多いことがわかる。このことは、生徒が主体的に学習活動を行なったとみてよいのではなかろうか。また指導過程ごとの振動の形が変わっていることは、授業の形態として変化があり、良かったのではないかと思うのである。

しかしこの表から、授業のひろがりについてとらえることができて、授業の内容や、ひとりひとりの生徒の活動状況はとらえられないというらみがある。

#### 4 生徒の自己評価による評価

授業が終わったとき、本時の学習で生徒自身が反省してみることも大切である。反省によって自分を認識し、次時の授業への学習の仕方を自分で改めるようになる。図 11(a)はそのための自己評価表で、1 時限の授業が終わるごとに、表の学習評価項目について生徒自身チェックさせた。これによって学習の個別化を図るとともに、

生徒個人のチェックを級全体として集計し、それを評価項目ごとに人数を百分率で表わしたのが図 11(b)である。これを生徒の立場からみた評価として、授業評価のひとつの資料にした。

さらに、授業評価をできるだけ客観性のあるものにするため、授業観察者による評価と生徒の自己評価の相関によってとらえようとしたのが図 12 である。この図では、生徒の自己評価表（図 11(a)）や、授業観察者の指導過程評価表（表 4）とも、評価の段階を a b c の 3 段階にとりチェックした。この評価段階の a を 3 点、b を 2 点、c を 1 点として、点数に換算して平均をだし、各評価項目を数値で表わした。

〈生徒の自己評価結果と授業観察者評価との相関について〉

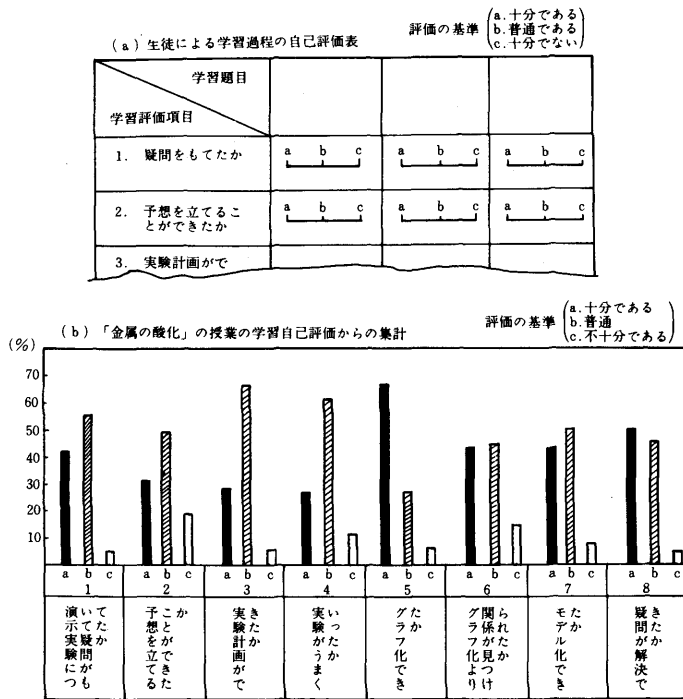
生徒の自己評価結果と指導過程評価との相関に述べる前に、授業を行った教師の授業評価を考えてみたい。

「金属の酸化」の授業での行動目標（P. 73）について、生徒の到達度をとらえるために、授業中のチェックや机間巡視を行い、「Ⅲ授業展開」で述べたことから、一応授業における行動目標が達せられたのではないかと考えている。

また、授業中のチェックとポストテスト、保持テストの結果を比較した図 9 で学習の定着度が高いことから、授業者としてまずまずの授業であったと評価している。

次に図 11(b)の生徒の自己評価の集計をみると評価項目の 2, 3, 4 より、そのあとの 5, 6, 7, 8 評価項目の方がいくらか評点が高いように思われる。このことは、1 から 4 までの評価項目は、授業過程では生徒にとって情意的な学習がなされたところであり、抽象的な考えが要求される場面である。それに比べて、5 から 8 の評価項目は、生徒の自主的な活動による学習が行われ、結果が具体的に表われるので、

図11 生徒による内容分析の観点と集計



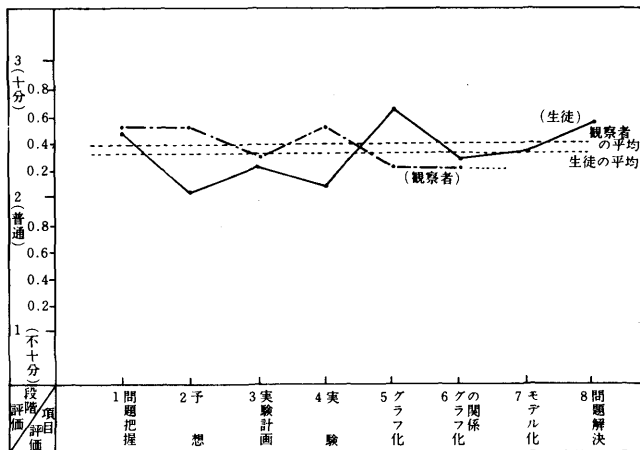
自己評価も高くなったものと考えられる。

図12では生徒の自己評価と観察者による指導過程評価との相関について検討を行なった。図12では観察者と生徒の評価のグラフが、4実験5グラフ化を境にして逆転していることに気がつく。このことは、1から4の情意的な学習と5から8の自主的、行動的な学習のちがいが原因になってここに現われたものと思われる。

一般に授業観察者は情意的な面の評価はとらえにくいので、点があまくなり、高くなるのではない。行動的、自主的な学習の評価は、それに比べてとらえやすく、そのため点がきびしくなり低くなると考えられる。生徒にとっては、予想や誤差をふくむ実験などの情意的な学習は、主観が強くはたらし、結果がはっきりしない。そのことが不安になり自己評価が低くなる。一方グラフ化やモデル化などの自主的なグループ学習では、結果もはっきりしていて満足でき、自己評価が高くなる傾向がある。

ただ図11, 12「1問題把握」(情意的な学習)で、生徒の評価がわりと高かったのは、「棒てんびんによるスチールウールの燃焼」の演示実験によって、結果が具体的に与えられることができたからだと思う。

図12 授業観察者の評価と生徒の自己評価の相関



## V ま と め

本報告は中学校理科「化学変化と物質の量」(授業分析はその中の「金属の酸化」について実施)の単元を探究的に取扱った授業実践例である。その概略を、設計・実施・評価の各プロセス毎に記す。

**授業設計：**教材分析、目標分類マトリックスの作成、行動目標の設定、実験方法の検討、生徒の興味志向調査等を経て、指導細案を作成した。特に指導過程の評価にスポットをあて、指導者—観察者—学習者の3者それぞれの立場からの評価を計画した。

**授業実施：**金沢市泉中学校で実施した。授業当初は生徒の緊張が感じられたが、次第に学習が活発化し意欲的な学習が展開された。目標分類マトリックスを作成したことは、授業中に目標意識を持ち続けられ効果があつた(ただし、重点目標の選定には客観性が乏しいこと、また内容面・能力面と並んで情意面への配慮が今後の問題である)。実験方法を前もって検討したこともよかったが、生徒による定量実験では、所要時間や誤差の検討が引続き必要である。

**授業評価：**観察者による評価は、一応授業者の意図した評価観点についてとらえることができた。観察者各自の評価にバラツキがみられたが、今後観察者数を増すことにより客観化を図ることが望ましい。観察者に他教科教師を加え、また評価観点を設定しないフリーカード形式の評価も併せ考えたい。

コミュニケーション表の振幅の大小から、授業のひろがりを知ることができる。しかし授業内容や生徒個人の思考はこの表のみでは不明であり、教師や生徒の発言内容の記録が不可欠である。

生徒の自己評価(生徒サイドからみた授業評価)は教師にとり貴重な資料である。観察者の評価とこれの相関分析は、当初一致するとの予想を裏切り、若干のズレがみられた。この原因について検討を加えたが、今後もこの追跡が授業

改善のキーポイントの1つと考える。

以上、この実践研究を通して、授業がいかに難かしいものであるかを痛感すると同時に、授業に反省の光をあてることで、いささかなりとも自己を高め得られたことは大きな喜びである。

## 付 記

この研究を進めるにあたり、研究の機会を与えられた石川県教育委員会、金沢市教育委員会のご好意に感謝申し上げます。

また終始激励下さった金沢市泉中学校伊東平俊学校長、ご助言を頂いた金沢市教委木村道夫指導主事、県教育センター井下実、吉田貞介両研修指導主事、ご協力を頂いた泉中学校理科教諭ご一同、金沢科学教育研究会各位に深い謝意を表します。

## 文 献

- 1) 水越敏行・金沢市理科教育研究グループ：「理科発見学習における設計・実施・評価の実証研究」(第1報—第3報)、金沢大学教育学部紀要, 22号, P.41 (1973); 24号, P.47 (1975)。
- 2) 水越敏行・金沢市理科教育研究グループ：「授業研究の方法論」, 現代教育学, No.37, P.145; No.38, P.144; No.39, P.141; No.40, P.144 (1974—5)。
- 3) 坂元昂：「教育工学の原理と方法」明治図書(1974)。
- 4) 山崎豊・水越敏行(編)：「小・中・高をつなぐ理科教育の構造・過程」評価, 黎明書房(1973)。
- 5) 文部省：「中学校指導書(理科編)」(1970)。
- 6) 森川久雄：「行動目標の設定と評価」明治図書(1972)。
- 7) 小金井正己・武田一美・森川久雄：「中学理科探究過程の構成(第1分野II)」明治図書(1973)。
- 8) 鳥取市中学校理科部会：「金属の酸化の実験について」, 全中理山口大会発表資料(1974)。
- 9) 金沢市中学校理科部会：「理科教材精選案」, 理科部会資料, (1974)。